

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

DE 42 42 197 C1Abstract:

The control system has sensors at distributed sites which provide signals for the control function. The sensors are connected together by a communication line. The actual status of the sensors are repeatedly polled in series within a polling period resulting from the sampling period.

The polling of all sensors requires a polling time which is less than the polling period. Event conditional communication is permitted during an event time of the polling period. The communications line carries end signals to end the event time. The event conditional communication is blocked and a polling corresponding to the polling frequency is ensured.

ADVANTAGE - Permits event conditional communication during time in polling period which is not necessary for polling.



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
10 DE 42 42 197 C 1

51 Int. Cl.⁵:
G 06 F 15/46
G 05 B 21/02

21 Aktzeichen: P 42 42 197.7-53
22 Anmeldetag: 15. 12. 92
43 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 21. 4. 94

DE 42 42 197 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Lawrenz, Wolfhard, Prof. Dr.-Ing., 38302
Wolfenbüttel, DE

74 Vertreter:

Gramm, W., Prof. Dipl.-Ing.; Lins, E., Dipl.-Phys. Dr.
jur., Pat.-Anwälte; Schrammek, H., Rechtsanw.,
38122 Braunschweig

72 Erfinder:

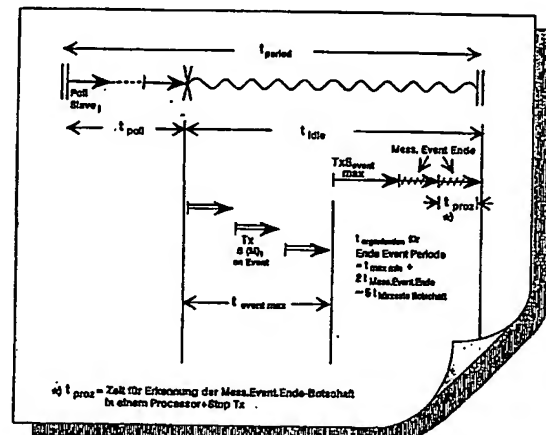
gleich Patentinhaber

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-B.: Magin/Wüchner: »Digitale Prozeßleittech-
nik«, Vogel Buchverlag Würzburg 1987, Sn. 105-125;
DE-Z.: Elektronik 1/14.1.83, Sn. 47-52;

54 Verfahren zum Betrieb eines Reglersystems mit einer Mehrzahl von Sensoren/Aktoren

57 Bei einem Verfahren zum Betrieb eines Reglersystems mit einer Mehrzahl von Sensoren/Aktoren (2), die an verteilten Orten Signale für die Regelungsfunktion bereitstellen bzw. Regler-Teilaufgaben ausführen und miteinander über eine Kommunikationsleitung (3) verbunden sind, in dem der aktuelle Status der Sensoren/Aktoren (2) wiederholt seriell innerhalb einer sich aus einer Abtastfrequenz ergebenden Abfrageperiode (t_{period}) abgefragt wird (Polling), wobei die Abfrage aller Sensoren/Aktoren (2) eine Abfragezeit (T_{poll}) benötigt, die kürzer als die Abfrageperiode (t_{period}) ist, läßt sich innerhalb einer Abfrageperiode (t_{period}) sowohl das Polling als auch eine ereignisbedingte Kommunikation dadurch sicherstellen, daß während einer Zeitdauer (Eventzeit) der Abfrageperiode (t_{period}) ereignisbedingte Kommunikationen (S) zugelassen werden und daß zur Beendigung der Eventzeit die Kommunikationsleitung (3) mit Beendigungssignalen (Mess.Event.Ende) belegt werden und so die ereignisbedingte Kommunikation (S) blockieren und ein der Abfragefrequenz entsprechendes Polling sicherstellen.



DE 42 42 197 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Reglersystems mit einer Mehrzahl von Sensoren/Aktoren, die an verteilten Orten Signale für die Regelungsfunktion bereitstellen bzw. Regler-Teilaufgaben ausführen und miteinander über Kommunikationsleitungen verbunden sind, in dem der aktuelle Status der Sensoren/Aktoren wiederholt seriell innerhalb einer sich aus einer Abtastfrequenz ergebenden Abfrageperiode abgefragt wird (Polling), wobei die Abfrage an Sensoren/Aktoren eine Abfragezeit benötigt, die kürzer als die Abfrageperiode ist.

Regelungsaufgaben auch komplizierterer Art werden üblicherweise mit Hilfe eines zentralen Reglers ausgeführt. Hierfür sind viele, ggf. jeweils sehr lange Sensor- und Aktorleitungen erforderlich.

Es ist bekannt, solche konzentriert aufgebauten Regler zunehmend in verteilte Systeme zu überführen, in denen die verteilten Intelligenzen z. B. über ein Netz miteinander kommunizieren. Hieraus ergibt sich eine Verlagerung der ursprünglich konzentrierten Prozessorleistung auf dezentrale, ggf. intelligente Netzwerknoten mit jeweils nur kurzen Signalleitungen zu den jeweiligen Prozessor-Sensoren und/oder Aktoren.

Auch bei einem solchen verteilten System ist es erforderlich, die zu bedienenden Sensor- und Aktorsignale möglichst in einer festen Abfrageperiode abzufragen. Dabei ist nach dem Shannon-Theorem die Abfragerate wenigstens zweimal so groß wie die maximale Grenzfrequenz der zu behandelnden Systemsignale zu wählen. In einem verteilten System kann diese Abfrage mit Hilfe eines einzelnen Masterknotens gesteuert werden. Es ist aber auch möglich, eine derartige Abfrage in einem Multimastersystem vorzunehmen oder die Abfrage ggf. auch von Slaveknoten durchführen zu lassen.

Insbesondere in einem verteilten System besteht das Bedürfnis, ereignisbedingte Kommunikationen zuzulassen, die beispielsweise kritische Bereichsüberschreitungserkennungen, Not-Aus-Signale o. dgl. übertragen und eine sofortige Reaktion des Systems wünschenswert machen. Bei konzentrierten Prozessorlösungen für Regler ist es bekannt, derartige Signale als Interrupt für den Reglerprozessor auszubilden. Bei verteilten Systemen ist eine derartige Interruptfunktion nicht ohne weiteres realisierbar.

Aus Magin/Wüchner Digitale Prozeßleittechnik, Würzburg 1987, Seiten 105 bis 125 ist es bekannt, Abfragen über einen Bus durch ein Bussteuergerät zu steuern. In einem Zeitfenster wird eine Abfrage an die Teilnehmer gestartet, und vom Bussteuergerät Antworten sendewilliger Teilnehmer empfangen. Die Buszuteilung erfolgt für den sendewilligen Teilnehmer höchster Priorität. Nach Durchführung des Datenverkehrs wird die Kommunikation mit einem anderen Teilnehmer ermöglicht. Offenbart ist alternativ eine zyklische Abfrage von Ist-Werten, die gesammelt werden und zu einem Stellsignal ausgewertet werden können. Eine Reaktion des Systems auf besondere Ereignisse ist nur in dafür vorgesehenen Zeitabschnitten möglich.

Aus "Elektronik" 1983, Seiten 47 bis 52 ist ein Mehr-Prozessor-Regler bekannt, bei dem Rechner über Interrupt-Befehle zyklisch mit den verschiedenen Sensoren/Aktoren kommunizieren und Aufgaben verteilen. Dabei entsteht eine variable Zykluszeit. Darüber hinaus gibt es ereignisgesteuerte Tasks, die mit höchster Priorität übermittelt werden. Ferner sind von der Uhrzeit bestimmte Tasks realisierbar. Die Einhaltung bestimmter

Polling-Zyklen ist dabei nicht vorgesehen. Ist die Aktualisierung der Zustandsdaten innerhalb eines maximalen Zeitintervalls für ein System von Bedeutung, ist dieser bekannte Regler nicht verwendbar.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren der eingangs erwähnten Art werden während einer Zeitdauer (Eventzeit) der Abfrageperiode ereignisbedingte Kommunikationen zugelassen und zur Beendigung der Eventzeit die Kommunikationsleitung mit einem Beendigungssignal so belegt, daß die ereignisbedingte Kommunikation blockiert und ein der Abfragefrequenz entsprechendes Polling sichergestellt wird.

Der der Erfindung zugrundeliegende Gedanke besteht darin, während der für das Polling nicht benötigten Zeit der Abfrageperiode ereignisbedingte Kommunikationen zuzulassen und sicherzustellen, daß diese ereignisbedingten Kommunikationen so rechtzeitig enden, daß ein vollständiges Polling während der betreffenden Abfrageperiode möglich ist und das Polling für die nächste Abfrageperiode rechtzeitig beginnen kann. Erfindungsgemäß wird daher ein Beendigungssignal erzeugt, daß die ereignisbedingte Kommunikation auf die zur Verfügung stehende Eventzeit begrenzt und sicherstellt, daß keine Restkommunikation über die zur Verfügung stehende Eventzeit hinaus erfolgt.

In einer ersten Ausführungsform der Erfindung wird während jeder Abfrageperiode zunächst das Polling abgeschlossen. Danach steht der Rest der Abfrageperiode für ereignisbedingte Kommunikationen zur Verfügung, wobei jedoch das Beendigungssignal rechtzeitig vor dem Ende der Abfrageperiode ausgesandt wird, um sicherzustellen, daß keine Kommunikation in die nächste Abfrageperiode hinein erfolgt.

In einem Netzwerk, in dem bei kollidierenden Sendewünschen die Entscheidung, welches Signal über die Kommunikationsleitung übertragen wird, mit Hilfe einer dem Signal zugeordneten Priorität erfolgt, können in der ersten Ausführungsform Pollingsignale als Signale mit höherer Priorität als eine ereignisbedingte Kommunikation ausgesandt werden. Es ist aber auch möglich, daß alle Teilnehmer des Netzes wissen, wie viele Pollingsignale ausgesandt werden müssen, bzw. für eine entsprechende Zeit für eine ereignisbedingte Kommunikation blockiert sind. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, mit dem Ende des Pollings ein Steuersignal — ggf. mit einer hohen Priorität — auszusenden, das den Beginn der möglichen ereignisbedingten Kommunikation kennzeichnet.

In einer zweiten Ausführungsform der Erfindung wird während der Abfrageperiode eine Unterbrechung des Pollings durch eine ereignisbedingte Kommunikation zugelassen und das Beendigungssignal so rechtzeitig vor dem Ende der Abfrageperiode ausgesandt, daß bis zum Ende der Abfrageperiode der Rest der Abfragezeit zur Verfügung steht. Dies hat zur Folge, daß das Polling innerhalb einer Abfrageperiode jederzeit durch ereignisbedingte Kommunikationen unterbrochen werden kann, wobei allerdings für die ereignisbedingten Kommunikationen eine maximale Gesamtzeit innerhalb der Abfrageperiode zur Verfügung steht und das Beendigungssignal die ereignisbedingte Kommunikation so rechtzeitig vor dem Ende der Abfrageperiode unterbricht, daß bis zum Ende der Abfrageperiode der Rest der Abfragezeit zur Verfügung steht. In dieser Ausführungsform ist es bei dem auf Prioritäten gegründeten Kollisionsentscheidungsmechanismus zweckmäßig, wenn ereignisbedingte Kommunikationen mit einer höheren Priorität als Pollingsignale ausgesandt werden

und wenn das Beendigungssignal mit einer höheren Priorität als die ereignisbedingten Kommunikationen ausgesandt wird und die Aussendung von ereignisbedingten Kommunikationen für den Rest der Abfragezeit während einer Abfrageperiode blockiert.

Selbstverständlich ist es in einer weiteren Ausführungsform möglich, während einer Abfrageperiode zunächst die ereignisbedingte Kommunikation zuzulassen und rechtzeitig vor dem Ende der Abfrageperiode durch das Beendigungssignal die ereignisbedingte Kommunikation zu stoppen, so daß das komplette Polling vorgenommen werden kann.

In allen Ausführungsformen ist es zweckmäßig, wenn das Beendigungssignal kontinuierlich wiederholt beginnend mit einem Abstand vom beabsichtigten Ende der Eventzeit ausgesandt wird, der wenigstens dem im Reglersystem längstmöglichen Kommunikationssignal zuzüglich der Länge des Beendigungssignals entspricht. Dabei kann es geschehen, daß die Kommunikationsleitung durch ein unmittelbar vorher ausgesandtes Kommunikationssignal belegt ist. Für die Länge des Kommunikationssignals kann daher das Beendigungssignal nicht übertragen werden. Wegen des genannten Abstands der initiierten Aussendung der Beendigungssignale ist aber sichergestellt, daß auch im ungünstigsten Fall ein Beendigungssignal nach dem Kommunikationssignal über die Kommunikationsleitung übertragen und von allen Sensoren/Aktoren empfangen wird.

Ist die Verarbeitungszeit der Sensoren/Aktoren für das Beendigungssignal nicht zu vernachlässigen, kann es zweckmäßig sein, den Abstand für die beginnende Aussendung des Beendigungssignals um ein weiteres Beendigungssignal zu vergrößern, um den Sensoren/Aktoren eine Verarbeitungszeit für das Beendigungssignal für die Dauer eines weiteren ausgesandten Beendigungssignals zu verschaffen.

Die Erfindung soll im folgenden anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 ein verteiltes System von mehreren Knoten eines Netzwerks mit einem einzigen Masterknoten,

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Zeitorganisation innerhalb einer Abfrageperiode, in der zunächst das Polling komplett durchgeführt wird,

Fig. 3 eine schematische Darstellung der zeitlichen Organisation innerhalb einer Abfrageperiode, in der das Polling durch ereignisbedingte Kommunikationen unterbrochen werden kann,

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Möglichkeiten, das verteilte System gemäß Fig. 1 mit mehreren Masterknoten durchzuführen oder Slaveknoten zu Masterknoten werden zu lassen.

Fig. 1 zeigt einen Masterknoten 1 und mehrere Slaveknoten 2, die Aktoren/Sensoren eines verteilten Reglersystems darstellen und über eine Kommunikationsleitung 3 miteinander verbunden sind. Schematisch ist angedeutet, daß die Sensoren/Aktoren 2 zur Steuerung eines Heizungssystems dienen und mit einer Temperaturreineinrichtung, einer Heizungssteuerung und einem Heizkessel zugeordnet sind.

In einem derartigen System wird der Masterknoten 1 die Zustände der Slaveknoten 2 regelmäßig abfragen, also ein sogenanntes "Polling" vornehmen.

In Fig. 2 ist gezeigt, daß während einer Abfrageperiode t_{period} zunächst die Abfragesignale (Poll Slave) ausgesandt werden, bis die Abfragezeit (t_{poll}) beendet ist. Da die Abfragezeit t_{poll} kleiner ist als die Abfrageperiode t_{period} entsteht eine Restzeit t_{idle} , die erfindungsge-

maß zur Durchführung von ereignisbedingten Kommunikationen S ausgenutzt wird. Die ereignisbedingten Kommunikationen können unterschiedliche Dauern aufweisen. Die längstmögliche Dauer der ereignisbedingten Kommunikation ist mit $T_{\text{Sevent max}}$ bezeichnet.

Damit eine eventbedingte Kommunikation S nicht über die Grenzen der Abfrageperiode hinaus stattfindet, wird ein Beendigungssignal Mess.Event.Ende ausgesandt, und zwar mit einem zeitlichen Abstand vom Ende der Abfrageperiode t_{period} , der der Länge der maximalen ereignisbedingten Kommunikation $T_{\text{Sevent max}}$ zuzüglich zweimal dem Beendigungssignal Mess.Event.Ende entspricht. Dadurch ist sichergestellt, daß in jedem Fall, also auch bei einer kollidierenden Aussendung einer ereignisbedingten Kommunikation am Ende der für die Aussendung der ereignisbedingten Kommunikationen maximalen Eventzeit $t_{\text{event max}}$ jedenfalls die letzten beiden Beendigungssignale Mess.Event.Ende auf der Kommunikationsleitung 3 übertragen und dadurch von allen Slaveknoten 2 empfangen werden. Dargestellt ist der beschriebene "worst case", in dem ein ereignisbedingtes Signal maximale Länge $T_{\text{Sevent max}}$ gerade noch vor dem Beginn des Aussendens der Mess.Event.Ende Signale ausgesandt worden ist. In diesem worst case findet noch die Übertragung zweier Beendigungssignale Mess.Event.Ende statt. Im Normalfall wird vor dem Ende der Abfrageperiode t_{period} eine höhere Anzahl von Mess.Event.Ende Signalen ausgesandt, die ereignisbedingte Signale blockieren. Die Aussendung des letzten Beendigungssignals Mess.Event.Ende hat lediglich die Funktion, vor dem Ende der Abfrageperiode t_{period} sicherzustellen, daß alle Sensoren/Aktoren das vorhergehende Beendigungssignal Mess.Event.Ende empfangen und verarbeitet haben, wobei für die Verarbeitung eine Zeit t_{proz} an genommen worden ist, die geringer als die Dauer des Beendigungssignals Mess.Event.Ende ist. Trifft diese Voraussetzung nicht zu, muß ggf. die maximale Eventzeitperiode $t_{\text{event max}}$ um ein weiteres Beendigungssignal Mess.Event.Ende verkürzt werden.

Wenn bei kollidierenden Sendewünschen eine Entscheidung aufgrund der Priorität der kollidierenden Sendesignale erfolgt, ist es für den in Fig. 2 dargestellten Fall zweckmäßig, die Pollingsignale Poll Slave; mit einer höheren Priorität als die ereignisbedingten Signale S auszusenden. Die Beendigungssignale Mess.Event.Ende haben ebenfalls eine höhere Priorität als die ereignisbedingten Signale S.

In einem CAN-Netz ist die maximale Kommunikationslänge eines ereignisbedingten Signals etwa dreimal so lang wie ein minimal langes Signal, wie es beispielsweise zur Kodierung des Beendigungssignals Mess.Event.Ende verwendet wird. Der Abstand des Beginns der Aussendung der Beendigungssignale von dem Ende der Abfrageperiode t_{period} beträgt daher etwa fünfmal die Länge des kürzesten Signals, also beispielsweise fünfmal die Länge des Beendigungssignals Mess.Event.Ende .

Fig. 3 zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel, in dem die Pollingsignale durch ereignisbedingte (eventdriven) Signale unterbrochen werden können. Dabei ist es erforderlich, daß festgestellt wird, wieviele Pollingsignale noch ausgesandt werden müssen, um das vollständige Polling vorzunehmen. Nach dieser Feststellung richtet sich der Anfangszeitpunkt für die Beendigungssignale, die auf der Kommunikationsleitung 3 sicherstellen, daß keine störenden Signale mehr auftreten und die restlichen Pollingsignale vor dem Ende der Abfrageperiode t_{period} ausgesandt werden. Das Abfragen der aktuellen

Daten der Sensoren/Aktoren 2 erfolgt somit zwar immer innerhalb einer Abfrageperiode t_{period} , jedoch zeitlich ggf. unregelmäßig. Um die Abfragen selbst zeitlich regelmäßig durchzuführen und damit die Abtastfrequenzbedingungen für jeden Fall genau einzuhalten, kann es zweckmäßig sein, daß die Slaveknoten 2 die entsprechenden Werte mit einer internen Uhr zu festgelegten Zeitpunkten innerhalb der Abfrageperiode t_{period} feststellen und bis zur Abfrage durch den Master mit Hilfe eines Pollingsignals speichern.

Fig. 4 verdeutlicht, daß das erfindungsgemäße Verfahren auch mit mehreren Masterknoten 1 durchführbar ist und daß auch Slaveknoten 2 hinsichtlich der Beendigung der Eventzeit $t_{\text{event max}}$ Masterfunktionen übernehmen können. Stellt ein Slaveknoten fest, daß nur noch wenig mehr als die Restzeit für die Beendigung des Pollings innerhalb einer Abfrageperiode t_{period} zur Verfügung steht, wird er rechtzeitig das Beendigungssignal aussenden. Das gleiche könnten die anderen Slaveknoten 2 ebenfalls tun. Effektiv wird die Aussendung des Beendigungssignals von dem Master- oder Slaveknoten 1, 2 vorgenommen, dessen interne Uhr als erste den kritischen Zustand für das Erreichen der benötigten Restzeit zur Durchführung des Rest-Pollings anzeigt.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit variabel für alle Arten von Netzwerken (single-master, multi-master, flyingmaster etc.) einsetzbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Reglersystems mit einer Mehrzahl von Sensoren/Aktoren (2), die an verteilten Orten Signale für die Regelungsfunktion bereitstellen bzw. Regler-Teilaufgaben ausführen und miteinander über eine Kommunikationsleitung (3) verbunden sind, in dem der aktuelle Status der sensoren/Aktoren (2) wiederholt seriell innerhalb einer sich aus einer Abtastfrequenz ergebenden Abfrageperiode (t_{period}) abgefragt wird (Polling), wobei die Abfrage aller Sensoren/Aktoren (2) eine Abfragezeit (T_{poll}) benötigt, die kürzer als die Abfrageperiode (t_{period}) ist, dadurch gekennzeichnet, daß während einer Zeitdauer (Eventzeit) der Abfrageperiode (t_{period}) ereignisbedingte Kommunikationen (S) zugelassen werden und daß zur Beendigung der Eventzeit die Kommunikationsleitung (3) mit Beendigungssignalen (Mess.Event.Ende) belegt werden und so die ereignisbedingte Kommunikation (S) blockieren und ein der Abfragefrequenz entsprechendes Polling sicherstellen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß während jeder Abfrageperiode (t_{period}) zunächst das Polling abgeschlossen wird und daß das Beendigungssignal rechtzeitig vor dem Ende der Abtastperiode (t_{period}) ausgesandt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Pollingsignale als Signale mit höherer Priorität als eine ereignisbedingte Kommunikation ausgesandt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß während der Abfrageperiode (t_{period}) eine Unterbrechung des Pollings durch eine ereignisbedingte Kommunikation (S) zugelassen wird und daß das Beendigungssignal so rechtzeitig vor dem Ende der Abfrageperiode (t_{period}) ausgesandt wird, das bis zum Ende der Abfrageperiode (t_{period}) der Rest der Abfragezeit (t_{poll}) zur Verfügung steht.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

daß ereignisbedingte Kommunikationen (S) mit einer höheren Priorität als Pollingsignale ausgesandt werden und daß das Beendigungssignal mit einer höheren Priorität als die ereignisbedingten Kommunikationen ausgesandt wird und die Aussendung von ereignisbedingten Kommunikationen für den Rest der Abfragezeit (t_{poll}) während einer Abfrageperiode (t_{period}) blockiert.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Beendigungssignal (Mess.Event.Ende) kontinuierlich wiederholt beginnend mit einem Abstand vom beabsichtigten Ende der Eventzeit ausgesandt wird, der wenigstens dem im Reglersystem längstmöglichen Kommunikationssignal ($Tx_{\text{Sevent max}}$) zuzüglich der Länge des Beendigungssignals (Mess.Event.Ende) entspricht.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitliche Abstand vom beabsichtigten Ende der Eventzeit wenigstens dem längstmöglichen Kommunikationssignal ($tx_{\text{Sevent max}}$) zuzüglich zweimal der Länge des Beendigungssignals (Mess.Event.Ende) entspricht.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

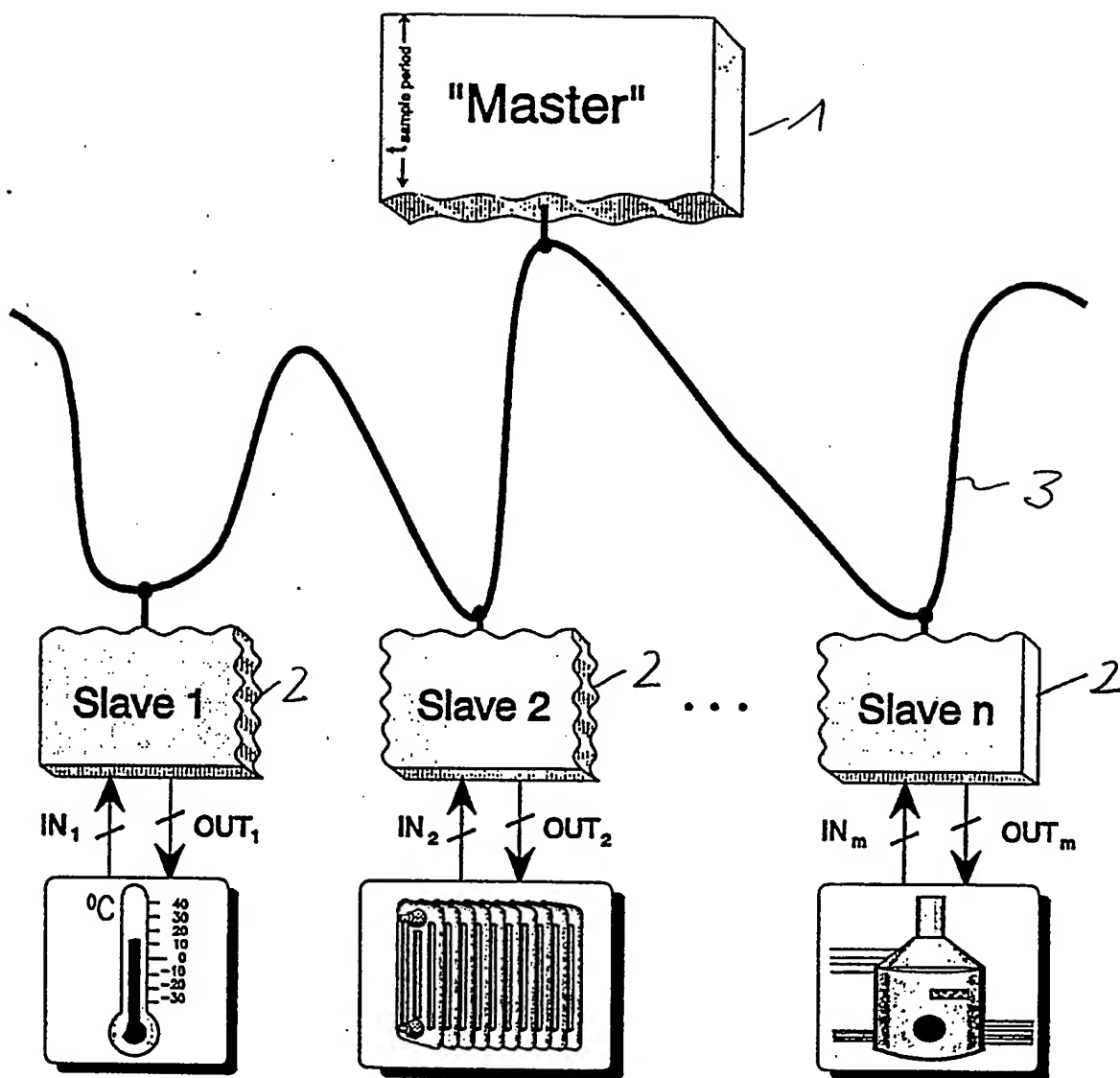


Fig. 1

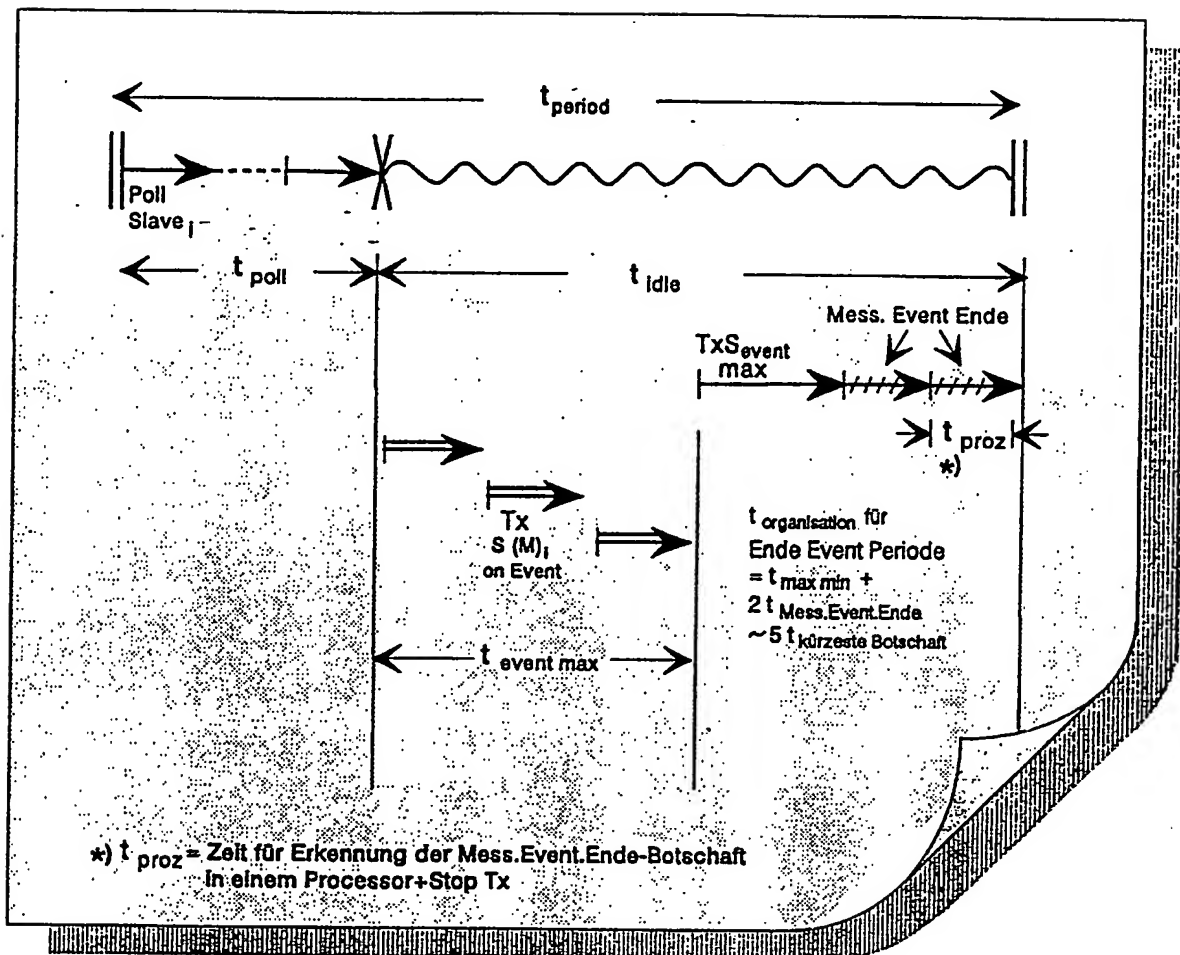


Fig. 2

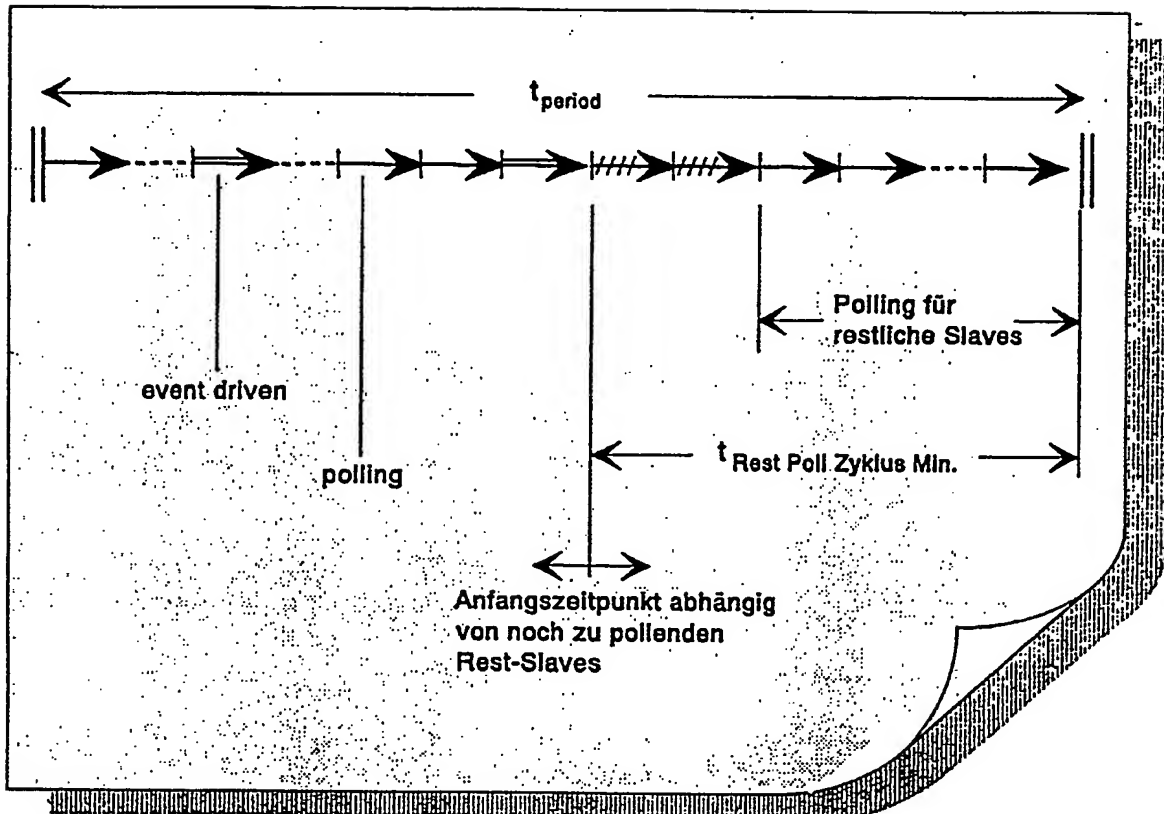


Fig. 3

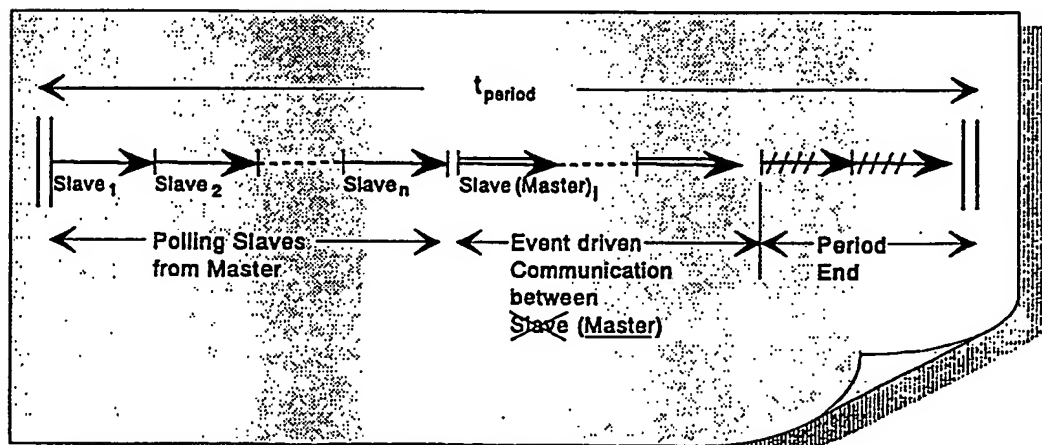
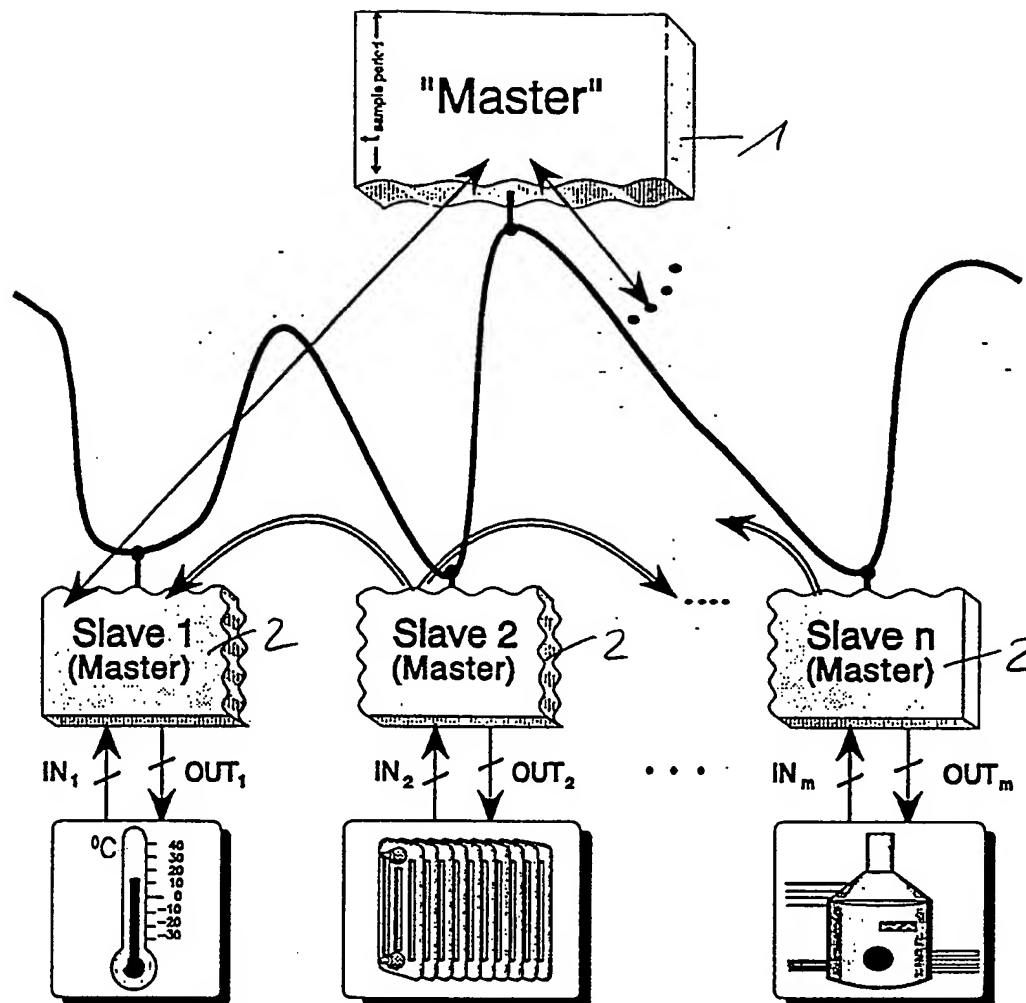


Fig. 4